

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA TEXTILNÍ**

Studijní program: B3107 Textil

Studijní obor: 3107R004 Technologie a řízení oděvní výroby



**Vliv konstrukčních parametrů textilie na její  
pórovitost**

**Influence of construction parameters of  
fabrics on its porosity**

KOD/2012/01/9/BS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Vedoucí práce: Ing. Renáta Nemčoková

**Liberec 2012**

**Lednický Martin**

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 21. 12. 2011

Podpis:

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat vedoucí bakalářské práce Ing. Renátě Nemčokové za její odborné vedení a cenné rady při přípravě této práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za veškerou podporu.

## **Anotace**

Tato práce je zaměřena na zjišťování pórovitosti jednou z uvedených matematických metod a obrazovou analýzou a na následném porovnání a vyhodnocení teoretických a experimentálních dat.

Dále jsou zde popsány některé matematické i geometrické metody zjišťování pórovitosti, zaplnění a zakrytí.

## **Annotation**

This work is aimed on detection of porosity with one of said mathematical methods and image analyze and on next comparing and theoretical and experimental data evaluation.

In the other part of this work I'm describing any mathematical and geometric methods of detecting of porosity, filling and covering.

## **Klíčová slova – Key-words**

Zaplnění	-	Filling
Zakrytí	-	Covering
Pór	-	Pore
Pórovitost	-	Porosity
Obrazová analýza	-	Image analyze

## **Obsah:**

<b>1 Úvod .....</b>	<b>8</b>
<b>2 Zaplnění .....</b>	<b>9</b>
2.1 Objemová definice zaplnění.....	9
2.2 Plošná interpretace zaplnění.....	10
2.3 Hmotnostní interpretace zaplnění .....	11
2.4 Zaplnění v ideálním stavu paralelní struktury .....	11
2.5 Typy struktur.....	12
2.5.1 Limitní struktura .....	12
2.5.2 Kompaktní struktura .....	13
2.5.3 Volná struktura .....	14
2.5.4 Přechodová struktura .....	14
<b>3 Zakrytí .....</b>	<b>15</b>
3.1 Dostava tkaniny.....	16
3.2 Vazná buňka tkaniny.....	17
3.3 Stupeň zakrytí tkaniny.....	17
3.4 Jiné metody výpočtu zaplnění.....	18
<b>4 Pórovitost.....</b>	<b>19</b>
4.1 Typy pórů .....	19
4.2 Metody výpočtu pórovitosti .....	20
4.2.1 Objemová pórovitost a poměr mezivlákněného póru.....	20
4.2.2 Objemová porózita ze zaplnění nití.....	23
4.2.3 Stanovení pórovitosti směsových materiálů .....	24
4.3 Stanovení pórovitosti .....	25
4.3.1 Stanovení pórovitosti na základě přímého měření .....	25
4.3.2 Stanovení pórovitosti na základě modelu .....	30
<b>5 Obrazová analýza .....</b>	<b>40</b>

<b>6 Experimentální část.....</b>	<b>40</b>
6.1 Matematická metoda výpočtu pórovitosti.....	40
6.2 Stanovení pórovitosti pomocí obrazové analýzy .....	42
6.3 Vyhodnocení experimentální části.....	44
<b>7 Závěr .....</b>	<b>48</b>
Použitá literatura .....	49
Seznam obrázků .....	50
Seznam grafů.....	51
Seznam tabulek .....	51
Seznam příloh.....	51

# 1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je zjištění vlivu konstrukčních parametrů textilie na pórovitost sady materiálů a porovnání s experimentálně zjištěnými hodnotami zaplnění pomocí obrazové analýzy.

Pórovitost je jedna z nejdůležitějších vlastností textilie z hlediska stanovení prodyšnosti, propustnosti apod. Lze být stanovena mnoha metodami méně či více přesnými.

Teoretická část se zabývá problematikou matematických metod výpočtu zaplnění, zakrytí a dále i pórovitosti. Jsou zde uvedeny i některé přímé metody (např.: optická či objemová metoda) a nepřímé metody (tj. stanovení pórovitosti na základě teoretického modelu) stanovení pórovitosti.

Experimentální část je zaměřena na výpočet pórovitosti jednou z uvedených matematických metod a zjištění pórovitosti pomocí obrazové analýzy, která využívá principu světelné propustnosti materiálu. Takto zjištěná data jsou následně porovnány a vyhodnoceny jak statistickými údaji, tak slovním ohodnocením v závěru této práce.



## 2 Zaplnění

Zaplnění  $\mu$  vyjadřuje procentuální podíl vláken v textilií nebo ji v jiném nevlákenném útvaru. Vypočítá se jako podíl objemu vláken v textilií ku celkovému objemu textilie, může však být vypočteno jako podíl obsahu vláken v příčném řezu ku celkové ploše příčného řezu. Hodnoty zaplnění vycházejí v intervalu  $\langle 0;1 \rangle$  [1].

Orientační hodnoty zaplnění jsou uvedeny v příloze v tabulce (tab. 1)

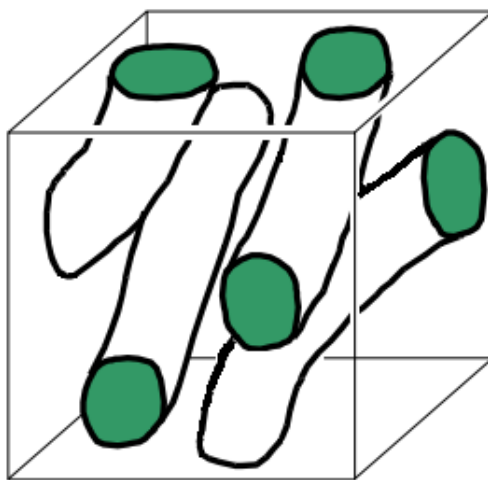
### 2.1 Objemová definice zaplnění

Hranol znázorňuje výřez textilního materiálu, kde jsou znázorněny vlákna obsažená v jeho objemu (obr. 1). Objem vláken je vždy menší nebo je roven objemu hranolu [1].

$$\mu = \frac{V}{V_c} \quad (1)$$

Kde:  $\mu$  - Zaplnění [-]

$V$  - Objem vláken [ $\text{m}^3$ ]



Obr. 1: Hranolový výřez textilního materiálu

$V_c$  - Celkový objem vlákenného útvaru [ $m^3$ ]

## 2.2 Plošná interpretace zaplnění

Tentokrát má výřez textilního materiálu tvar plochého hranolu, kde  $h$  je velmi malé, proto můžeme zanedbat zakřivení segmentů. Vyšrafované řezné plošky jsou promítány na horní rovině řezu a vyznačují řez vláknem (obr. 2). Objem všech vláken vypočteme: [1]

$$V = \sum_{j=1}^m (s_j^* h) = h \cdot \sum_{j=1}^m s_j^* = h \cdot S \quad (2)$$

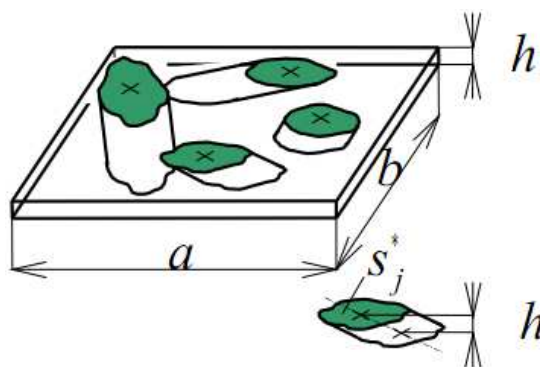
Kde:  $V$  - Objem vláken [ $m^3$ ]

$m$  - Počet vláken

$s_j^*$  - Řezná plocha  $j$ -tého segmentu ( $j=1, 2, \dots, m$ )

$h$  - Výška hranolu [ $m$ ]

$S$  - Plocha vláken [ $m^2$ ]



Obr. 2: Výřez textilním materiálem ve tvaru plochého hranolu

Celkový objem hranolu je  $V_c = abh = h \cdot S_c$ , kde  $S_c = ab$  je celková řezná plocha vlákenným útwarem [1].

$$\mu = \frac{V}{V_c} = \frac{hS}{hS_c} = \frac{S}{S_c} \quad (3)$$

Kde:  $S_c$  - Plocha horní stěny hranolu [m<sup>2</sup>]

### 2.3 Hmotnostní interpretace zaplnění

$\rho = \frac{M}{V}$  je měrná hmotnost vláken a  $\gamma = \frac{M}{V_c}$  je měrná hmotnost vlákenného

útvary odkud plyne  $M = V\rho = V_c\gamma$  [1].

Kde:  $M$  - Hmotnost [kg]

$$\mu = \frac{V}{V_c} = \frac{\frac{V_c\gamma}{\rho}}{V_c} = \frac{\gamma}{\rho} \quad (4)$$

### 2.4 Zaplnění v ideálním stavu paralelní struktury

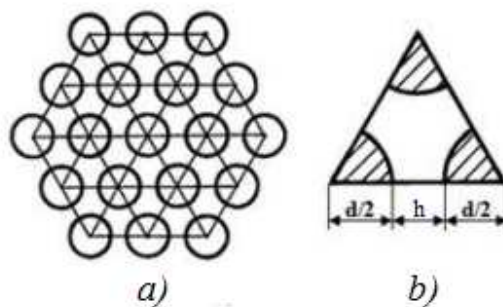
Je založen na uvažování svazku paralelních válcových vláken, které jsou rovnoměrně rozmístěny do hexagonální struktury (obr. 3a). Pravidelná šestiúhelníková síť se skládá z rovnostranných trojúhelníků. Osy vláken jsou ve vrcholech těchto trojúhelníků (obr 3b). Vyšrafovaná plocha vlákenných řezů tvoří dohromady půlkruh [1].

$$S_t = (d + h) \cdot (d + h) \cos 30^\circ / 2 = (d + h)^2 \sqrt{3} / 4 \quad (5)$$

Kde  $S_t$  - Plocha trojúhelníku [m<sup>2</sup>]

$d$  - Průměr vlákna [m]

$h$  - Vzdálenost vláken [m]



Obr. 3: a) hexagonální vlákenná struktura, b) jednotka struktury

$$S = \frac{\pi d^2}{8} \quad (6)$$

Kde  $S$  - Plocha vláken obsažených v trojúhelníku [ $\text{mm}^2$ ]

Zaplnění této struktury je zaplněním analyzovaného trojúhelníku. Vzorec získáme dle jeho plošné interpretace [1].

$$\mu = \frac{S}{S_c} = \frac{\pi d^2}{8} \frac{4}{(d+h)^2 \sqrt{3}} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \frac{1}{\left(1 + \frac{h}{d}\right)^2} \quad (7)$$

## 2.5 Typy struktur

### 2.5.1 Limitní struktura

Má nulovou vzdálenost vláken, tudíž se vlákna navzájem dotýkají. Podle rovnice (7) je zaplnění: [1]

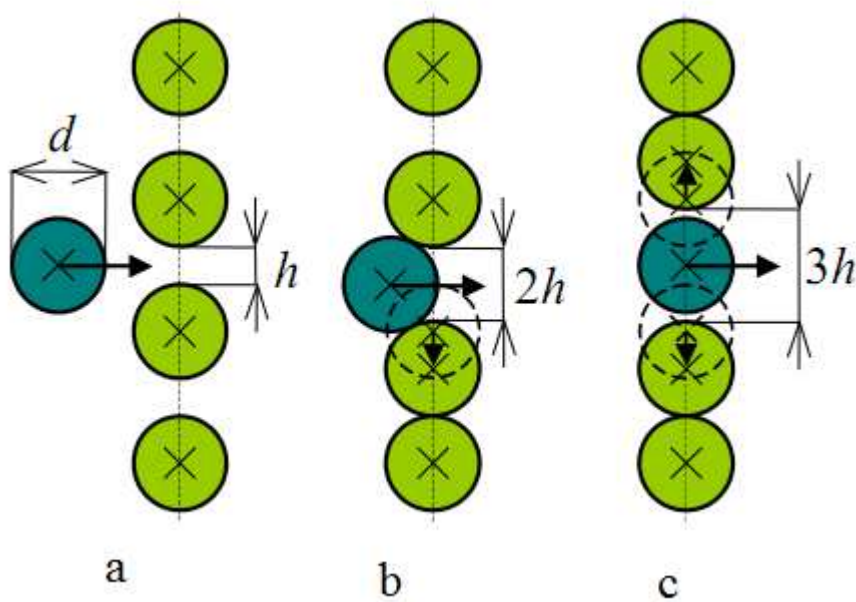
$$\mu = \mu_{\text{lim}} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \cong 0,907 \quad (8)$$

### 2.5.2 Kompaktní struktura

Je typem struktury s omezeným individuálním pohybem vláken. Proto je tato struktura poměrně pevná, tvrdá a tuhá. U této struktury je vzdálenost vláken  $h < d/2$ , proto se její zaplnění vypočte: [1]

$$\mu = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \frac{1}{\left(1 + \frac{d/2}{d}\right)^2} \cong 0,403 \quad (9)$$

Modré vlákno se snaží proniknout řadou vláken (obr 4a), ale protože je jeho průměr větší než vzdálenost jednotlivých vláken, odsunuje jedno vlákno v řadě (obr 4b). K jeho průchodu nestačí však odsunout pouze jedno vlákno, ale dvě nebo více vláken (obr 4c) [1].

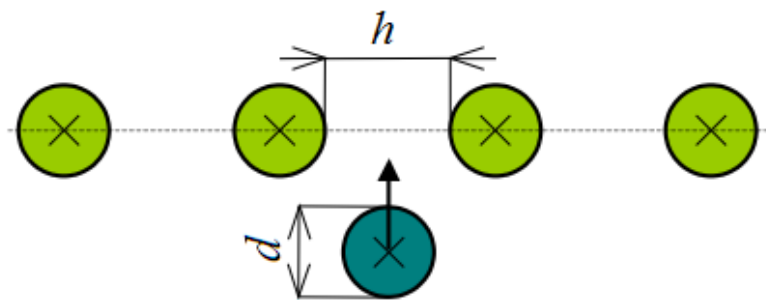


Obr. 4: Pronikání vlákna vlákennou řadou s kompaktní strukturou

### 2.5.3 Volná struktura

Protože je u této struktury vzdálenosti vláken  $h > d$ , může vlákno volně projít mezerou v řadě, aniž by došlo k posunutí některého z vláken ve vlákenné řadě (obr. 5). Proto bude tato struktura měkká, splývavá a málo mechanicky odolná [1].

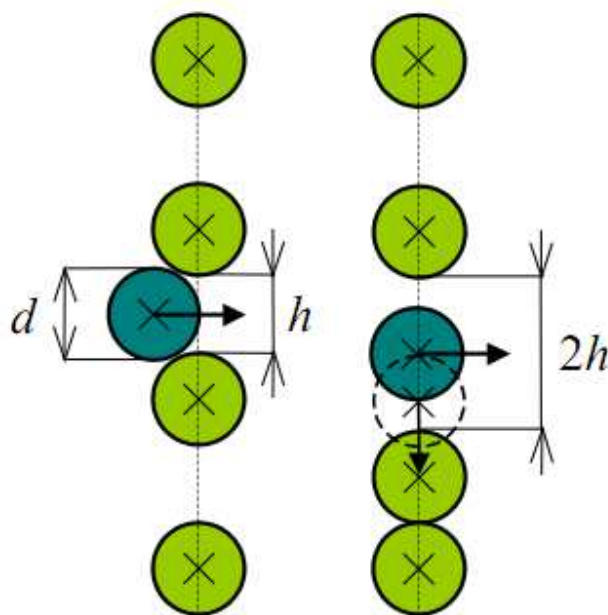
$$\mu = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \frac{1}{\left(1 + \frac{d}{h}\right)^2} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \frac{1}{(1+1)^2} \cong 0,227 \quad (10)$$



Obr.: 5 Pronikání vlákna vlákennou řadou s volnou strukturou

### 2.5.4 Přejížděvací struktura

Přejížděvací struktura má  $h \in \langle d/2; d \rangle$  (obr. 6). Jak vyplývá z předcházejících struktur, tak zaplnění bude  $\mu \in \langle 0,227; 0,403 \rangle$  a její vlastnosti budou mezi vlastnostmi volné a kompaktní struktury [1].



Obr. 6: Pronikání vlána vlákennou řadou s přechodovou strukturou

### 3 Zakrytí

Zakrytí udává jaká část textilie je zakryta nitěmi. Zakrytí je vlastně plošná interpretace zaplnění, proto může být definováno jako půdorysný poměr plochy materiálu ku celkové ploše tkaniny. Plošné zakrytí vychází z půdorysné plochy nití ve vazné buňce tkaniny [4].

Vypočte se poměrně jednoduchým vztahem a je nezávislý na stupni provázání a vnitřním uspořádání tkaniny. Vypočítá se ze zakrytí osnovy a zakrytí útku podle vzorce: [4]

$$Z = Z_o + Z_u - Z_o Z_u \quad (11)$$

K tomuto vzorci je nutné vypočítat zakrytí osnovy a útku:

$$Z_o = D_o d_o \quad (12)$$

$$Z_u = D_u d_u \quad (13)$$

Kde  $Z$  - Zakrytí [-]

$Z_o$  - Zakrytí osnovy [-]

$Z_u$  - Zakrytí útku [-]

$D_o$  - Dostava osnovy [1/100 mm]

$D_u$  - Dostava útku [1/100 mm]

$d_o$  - Průměr osnovní nitě [mm]

$d_u$  - Průměr útkové nitě [mm]

Součin  $Z_o Z_u \cdot 10^{-2}$  vyjadřuje místa, kde se kříží osnovní a útkové nitě (tj. plocha vazných bodů). Tuto plochu je nutné odečíst, protože plocha vazných bodů je zde započtena dvakrát. Nitě ve tkanině jsou deformovány, však pro jednoduchost výpočtu se užívá za  $d_o$  a  $d_u$  průměry nedeformovaných nití [4].

### 3.1 Dostava tkaniny

Dostavou tkaniny rozumíme počet nití na jednotku délky, udává se na 100 mm popřípadě na 10 mm. Je uváděna zvlášť pro osnovní a zvlášť pro útkovou soustavu nití. Dostava neboli hustota tkaniny je závislá na silovém působení tkacího procesu, jemnosti přízí, vazbě, druhu, určení, zušlechťení a vazební technice tkaniny. Je spolu s průměry osnovních a útkových nití hlavním parametrem pro určení zakrytí tkaniny. Dostavu lze stanovit:

$$D = \frac{n}{l} \quad (14)$$



Kde: D - Dostava [1/100 mm]

n - Počet nití

l - Měřená délka [dm]

### 3.2 Vazná buňka tkaniny

Vazná buňka tkaniny se nachází v místě překřížení osnovní a útkové nitě. Každá vazná buňka je z části kryta osnovní a z části útkovou nití. Rozměry vazné buňky sou dány vztahy: [5]

$$A = \frac{1}{D_u} \cdot 10^2 \quad (15)$$

$$B = \frac{1}{D_o} \cdot 10^2 \quad (16)$$

Kde: A - Skutečná rozteč útkových nití [m]

B - Skutečná rozteč osnovních nití [m]

### 3.3 Stupeň zakrytí tkaniny

$$K_o = \frac{d_o}{B} \quad (17)$$

$$K_u = \frac{d_u}{A} \quad (18)$$

$$K = \frac{d_o A + d_u B - d_o d_u}{A \cdot B} = K_o + K_u - K_o K_u \quad (19)$$

Rozeznáváme krytí soustavou osnovních nebo útkových nití nebo krytí celkové: [5]

Kde:  $K$  - Celkový stupeň zaplnění [-]

$K_o$  - Stupeň zaplnění osnovou [-]

$K_u$  - Stupeň zaplnění útkem [-]

Maximální dosažená hodnota takto definovanými vztahy nemůže překročit hodnotu 1 (nebo 100%). Takto definovaný výpočet zakrytí vychází ze zjednodušeného plošného modelu, jenž není dokonalým popisem reálné struktury tkaniny. Teoretické 100%-ní krytí nelze tedy automaticky spojovat s maximálně dosaženou hustotou tkaniny [5].

### 3.4 Jiné metody výpočtu zaplnění

Mimo tyto vztahy pro výpočet zakrytí tkaniny se používají i jinak definované vztahy, které vznikly pro zjednodušení nebo kuli zahrnutí podílu deformace průměru přízí vzniklé při zatčení, zakroucení nitě nebo kuli snaže více respektovat prostorové uspořádání vazných buněk apod. [5]

a) Peirceuv faktor krytí (Cover Factor)

$$CF = \frac{D}{\sqrt{cm}} \quad (20)$$

Tato metoda sice zjednodušuje výpočet vyloučením změny průměru příze, neodpovídá již ale skutečnému zakrytí jednotlivými soustavami nití [5].

b) Zakrytí tkaniny podle Walze:

$$W = (d_1 + d_2)^2 \cdot D_1 \cdot D_2 \quad (21)$$

Ani tento, sice jednoduchý vztah, neodpovídá hodnotě reálného zakrytí tkaniny [5].

## 4 Pórovitost

Obecně lze za póry v textilií považovat všechny prostory uvnitř této textilie, které jsou za běžných podmínek vyplněny plynnou fází – vzduchem. Pórovitost vyjadřuje poměr vláken v textilií k mezivláknennému prostoru v textilií [6].

Pórovitost jinak také porosita či porezita „vyjadřuje podíl objemu vláknenného útvaru vyplněného vzduchem“ [1]. Porositu lze vyjádřit jako hodnotu v intervalu  $\langle 0;1 \rangle$  nebo v procentech v intervalu  $\langle 0;100 \rangle$ . Porosita udává pouze kolik vzduchu je obsaženo v textilií, ne však o jeho rozmístění – distribuci velikosti pórů, jejich velikosti, tvaru apod. Každá plošná textilie vyrobená přímo z vláken nebo z nití má mezi těmito vlákny nebo i nitěmi jisté množství vzduchových pórů [6].

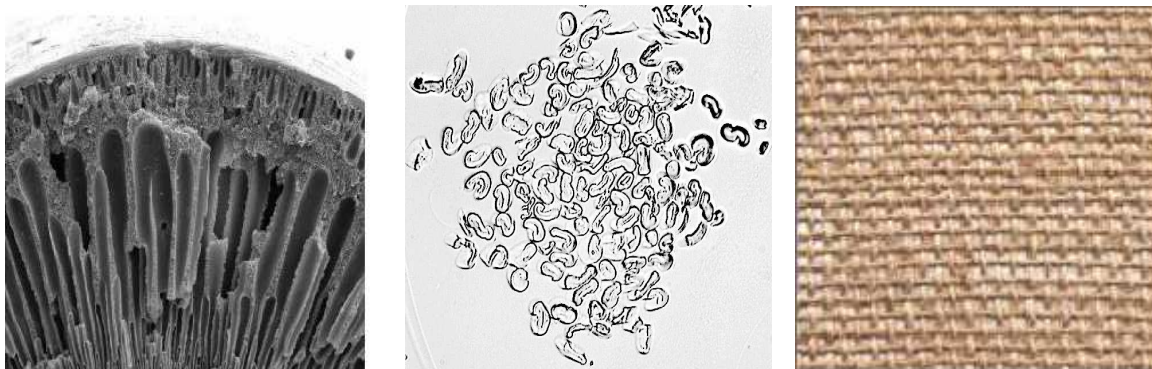
### 4.1 Typy pórů

V plošné textilií rozlišujeme zpravidla 3 typy póru: [6]

- Póry uvnitř vláken (mikropóry) (obr. 7a) představují trhlinky na povrchu nebo uvnitř vláken. Tyto póry jsou velmi malé, proto mají na pórovitost jen malý vliv, při plošné interpretaci nemají dokonce vliv žádný.
- Póry vzniklé mezi vlákny (tzv. mezinitné póry nebo mezopóry) (obr. 7b) představují volný prostor mezi vlákny příze nebo netkané textilie. Póry mezinitné mají již na pórovitost větší vliv, stále však při plošné interpretaci z důvodu zákrutů příze nehrají žádnou roli. U netkaných textilií mají

rozhodující vliv na pórovitost tyto póry, protože ve struktuře netkané textilie nenajdeme žádné nitě, tudíž ani mezinitné póry.

- Póry vytvořené mezi nitěmi (tzv. mezinitné póry nebo makropóry) (obr. 7c) představují volný prostor mezi osnovními a útkovými nitěmi v případě tkaniny a volný prostor vzniklý proplétáním nití v případě pleteniny. Mezinitné póry mají největší vliv na pórovitost textilií.



a)

b)

c)

Obr. 7: Typy pórů

Stejný objem vzduchu však může být v několika málo velkých pórech nebo v množství malých pórů [1].

## 4.2 Metody výpočtu pórovitosti

### 4.2.1 Objemová pórovitost a poměr mezivláknenného póru

Objemová poróznost zahrnuje celkové množství vzduchu v textilií, tj. póry uvnitř vláken, póry mezi jednotlivými vlákny a póry mezi nitěmi. Nezahrnuje však tvar, četnost a uspořádání v textilií [1].

Vláknenný útvar má celkový objem  $V_c$ , vlákna v něm mají objem  $V$ . Objem vzduchu (přesněji objem mezivláknenných prostorů) je  $V - V_c$ . Pórovitost je definována vztahem: [1]

$$\Psi = \frac{V_p}{V_c} = 1 - \frac{V}{V_c} = 1 - \frac{S}{S_c} = 1 - \mu \quad (22)$$

Kde  $\Psi$  - Pórovitost [-]

$V_p$  - Objem pórů [ $\text{m}^3$ ]

$V_c$  - Celkový objem vláknenného útvaru [ $\text{m}^3$ ]

$V$  - Objem vláken [ $\text{m}^3$ ]

$S_c$  - Celková plocha vláknenného útvaru [ $\text{m}^2$ ]

$S$  - Plocha vláken [ $\text{m}^2$ ]

Obecná geometrická charakteristika

$$\xi = \text{objem tělesa} / \text{povrch tělesa} \quad (23)$$

Charakteristika  $\xi$  závisí na tvaru tělesa, proto lze veličinou  $\xi$  porovnávat jen velikosti tvarově podobných těles [1].

Objem pórů (tj. objem vzduchu) ve vláknenném útvaru je za užití (1) a (22)

$$V_p = V_c - V = V_c \psi = \frac{V}{\mu} (1 - \mu) = V \frac{1 - \mu}{\mu} \quad (24)$$

Úhrnná délka všech vláken ve vláknenném útvaru  $L$

Pro objem vláken platí: [1]

$$V = \frac{\pi d^2}{4} L \quad (25)$$

Kde:  $L$  - Úhrnná délka všech vláken ve vlákenném útvaru [m]

Objem pórů je podle (23) [1]

$$V_p = \frac{\pi d^2}{4} L \frac{1-\mu}{\mu} \quad (26)$$

Obvod příčného řezu vlákna

$$p = \pi d(1+q) \quad (27)$$

Kde:  $p$  - Obvod příčného řezu vlákna [m]

$q$  - Tvarový faktor průřezu vlákna [-]

Hodnoty tvarového faktoru  $q$  dle K. Malinowské tab. 2

Tvar příčného řezu vláken	Tvarový faktor $q$
Kruh (ideální)	0
Kruh (reálný)	0 až 0,07
Trojúhelník (ideální)	0,29
Trojúhelník (reálný)	0,09 až 0,12
Bavlna zralá	0,2 až 0,35
Nepravidelný průřez	> 0,60

Tab. 2 Tvarový faktor [2]

Povrch vláken ve vlákněném útvaru při použití (27)

$$A = Lp = L\pi d(+ -q) \quad (28)$$

Kde: A - Povrch vláken [m<sup>2</sup>]

Povrch pórů vychází z předpokladu, že tam, kde končí vlákno, začíná vzduch kolem něj. Proto je povrch vláken současně i povrchem pórů. Předpoklad lze užitím (28) zapsat ve tvaru: [1]

$$A_p = A = Lp = L\pi d(+ -q) \quad (29)$$

Kde: A<sub>p</sub> - Povrch pórů [m<sup>2</sup>]

Geometrická charakteristika má za užití (23), (26) a (29) tvar:

$$\xi = \frac{V_p}{A_p} = \frac{\frac{\pi d^2}{4} L \frac{1-\mu}{\mu}}{L\pi d(1+q)} = \frac{1-\mu}{\mu} \frac{d}{4(1+q)} \quad (30)$$

#### 4.2.2 Objemová poróznost ze zaplnění nití

$$\Psi = \frac{V_p}{V_c} = 1 - \frac{\frac{D_o T_o (1+s_o)}{\mu_o} + \frac{D_u T_u (1+s_u)}{\mu_u}}{\rho t} \quad (31)$$

Jelikož  $s_o$ ,  $s_u$ ,  $\mu_o$  a  $\mu_u$  nejsou většinou známy a jejich použití může do výpočtu vnést nejasnosti, používá se spíše následujícího vzorce [3].

$$\Psi = \frac{V_p}{V_c} = 1 - \frac{V}{V_c} = 1 - \frac{H_R H_S \frac{\pi d^2}{4} l}{t} \quad (32)$$

Kde  $H_R$  - Hustota řádku [1/100 mm]

$H_S$  - Hustota sloupku [1/100 mm]

#### 4.2.3 Stanovení pórovitosti směsových materiálů

Nejprve je nutno stanovit vztah pro výpočet měrné hmotnosti klimatizovaných vláken a měrné hmotnosti vláknenné směsi [7].

$$\rho_{vlk} = \frac{k}{\frac{1}{\rho_{svl}} + \frac{k+1}{\rho_{H_2O}}} \quad (33)$$

$$k = 1 + \frac{v_p}{100} \quad (34)$$

Kde:  $\rho_{vlk}$  - Měrná hmotnost klimatizovaných vláken [ $\text{kg.m}^{-3}$ ]

$k$  - Vlhkostní faktor [-]

$v_p$  - Vlhkostní přírážka [-]

$\rho_{svl}$  - Měrná hmotnost suchých vláken [ $\text{kg.m}^{-3}$ ]

$\rho_{H_2O}$  - Měrná hmotnost  $H_2O$  při  $20^\circ\text{C} = 998,205$  [ $\text{kg.m}^{-3}$ ]



$$\rho_{SM} = \frac{1}{10^2} \sum_{j=1}^k \rho_{vlkj} v_j \quad (35)$$

Kde:  $\rho_{SM}$  - Měrná hmotnost vláknenné směsi [ $\text{kg.m}^{-3}$ ]

$\rho_{vlkj}$  - Měrná hmotnost j-té komponenty klimatizovaných vláken [ $\text{kg.m}^{-3}$ ]

$v_j$  - Relativní zastoupení vláknenné komponenty [-]

Výpočet pórovitosti je:

$$\psi = \frac{\rho_{SM} - \rho_V}{\rho_{SM}} \quad (36)$$

Kde:  $\rho_V$  - Objemová měrná hmotnost textilie [ $\text{kg.m}^{-3}$ ]

### 4.3 Stanovení pórovitosti

Pórovitost lze stanovit dvěma způsoby: [6]

- **přímo** – stanoví se na základě experimentálního měření některé z vlastností, které mají přímou souvislost s pórovitostí daného materiálu. Mezi tyto metody patří optická, hustoměrná a objemová metoda [6].
- **nepřímo** - na základě teoretických modelů založených na způsobu proudění tekutiny přes textilií nebo na geometrii póru, představujícího základní strukturální jednotku textilie [6].

#### 4.3.1 Stanovení pórovitosti na základě přímého měření

**Optická metoda** stanovení pórovitosti – stanovení plochy pórů na základě principu světelné propustnosti materiálu pomocí systému obrazové analýzy

(např. LUCIA). Výhodou je možnost zjišťování distribuce velikosti a typu pórů ve struktuře textilie [6].

Optická metoda zjišťování pórovitosti je omezena zejména dostavou, tloušťkou tkaniny, popř. povrchovou úpravou [6].

Optickou metodu je možné definovat za předpokladu platnosti Delesseova a Rosiwalaova vztahu: [6]

$$\frac{S_p}{S_t} = \frac{V_p}{V_t} \quad (37)$$

Kde:  $S_p$  - Plocha pórů na řezu o ploše  $S_t$  [ $m^2$ ]

$S_t$  - Celková plocha řezu [ $m^2$ ]

$V_p$  - Objem pórů v objemu textilního útvaru  $V_t$  [ $m^3$ ]

$V_t$  - Celkový objem textilního útvaru [ $m^3$ ]

Takto modifikovanou optickou metodu lze použít nejen pro měření pórovitosti plošných textilií (tkaniny, pleteniny a tenké netkané textilie) ale i pro měření pórovitosti objemových textilií. [6]

Nasnímaný obraz je možné použít také ke stanovení velikosti a distribuci pórů pomocí metody Monte Carlo, kdy se náhodně vhazuje bod na celkovou plochu řezu. Při velkém počtu hodů pak platí následující vztah: [6]

$$\frac{N_p}{N_t} \cong \frac{S_p}{S_t} \quad (38)$$

Kde:  $N_p$  – Počet zásahů do póru [-]

$N_t$  – Celkový počet hodů [-]

**Hustoměrná metoda** – vhodná v případě, kdy je známa objemová hmotnost pórovité látky nebo ji lze bez problémů zjistit. Porositu lze stanovit ze vztahu: [6]

$$P_p = \frac{\rho_{vl} - \rho_v}{\rho_{vl}} \quad (39)$$

kde:  $P_p$  – Porosita založená na podílu hustot [-]

$\rho_{vl}$  – Objemová hmotnost vláken [kg.m<sup>3</sup>]

$\rho_v$  – Objemová hmotnost textilního útvaru [kg.m<sup>3</sup>] daná vztahem:

$$\rho_v = \frac{m_t}{V_t} = \frac{m_t}{S_t \cdot t} = \frac{\rho_{st}}{t} \quad (40)$$

kde:  $m_t$  – Hmotnost textilie [kg]

$V_t$  – Objem textilie [m<sup>3</sup>]

$\rho_{st}$  – Plošná hmotnost textilie [kg.m<sup>-2</sup>]

$t$  – Tloušťka textilie [m]

Dosazením rovnice (40) do (39) lze stanovit vztah pro výpočet pórovitosti textilního útvaru na základě změření plošné hmotnosti textilního útvaru, jeho tloušťky a objemové hmotnosti textilních vláken: [6]

$$P_{\rho} = 1 - \frac{\rho_{st}}{\rho_{vl} \cdot t} \quad (41)$$

**Objemová metoda** - je založena na stanovení objemů pórů ve známém objemu pórovitého materiálu přímou metodou. Metody hodnotí absorbovaný objem jako funkci tlaku a jsou založeny na Washbornově rovnici (42) udávající tlak, kterým jsou plněny prázdné póry tekutinou, nebo naopak tlak, který je potřeba k vyprázdnění zaplněných pórů [6].

$$p = - \frac{4 \cdot \gamma \cdot \cos \theta}{d_p} \quad (42)$$

Kde:  $p$  – Tlak [Pa]

$\gamma$  – Povrchové napětí tekutiny [ $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ]

$\theta$  – Smáčecí úhel [ $^{\circ}$ ]

$d_p$  – Průměr póru [m]

Pro stanovení pórovitosti textilních materiálů se jako penetrantu používá rtuť. Při vtačování rtuti však dochází v důsledku použitého tlaku k deformacím textilního materiálu. Tyto deformace způsobují změnu prodyšnosti, proto byla rtuť v některých případech nahrazena vodou nebo nějakou jinou tekutinou s nižším povrchovým napětím [6].

Baxterova úprava vztahu (43), která reflektuje geometrii zobrazení zakřivených ploch pórů, jak se vyskytují v textiliích. Rovnice dle Baxtera udává maximální rozdíl tlaku potřebný pro vytlačení vzduchu tekutinou v neválcových pórech [6].

$$\Delta p_m = \frac{4 \cdot \gamma}{d_{vl} \left( \cos(\pi - \theta) + \sqrt{\left( \frac{d_{vl} + d_p}{d_{vl}} \right)^2 - \sin^2(\pi - \theta)} \right)} \quad (43)$$

Kde:  $\Delta p_m$  – Rozdíl tlaků [Pa]

$d_{vl}$  – Průměr vlákna [m]

V případě inertních materiálů (materiál, který nijak nereaguje s vodou a u něhož nedochází jejím vlivem ke změně (bobtnání, smršťování) objemu a objemové hmotnosti) se jako nejjednodušší jeví stanovení objemu vody, která zaplňuje prostor pórů při plném nasycení pórovitého materiálu. Vzhledem k měrné hmotnosti vody ( $\rho=1000 \text{ kg.m}^{-3}$ ) je přírůstek hmotnosti v gramech rovný objemu pórů  $V_p$  v  $\text{cm}^3$ . Pokud je textilie vyrobena z vláken hydrofilních, uvedená metoda je nepoužitelná a voda musí být nahrazena jiným médiem, vůči kterému je daná textilie hydrofobní, např. rtuť, jak již bylo zmiňováno výše [6].

Pórovitost stanovená na základě objemových metod je menší než skutečná pórovitost. Jako příčinu tohoto jevu lze označit přítomnost uzavřených pórů a pórů se zúženým hrdlem, do nichž tekutina vniká pouze obtížně. Takto stanovená pórovitost se někdy označuje jako pórovitost efektivní [6].

Pro stanovení porosity tkanin na základě objemových metod navrhl např. Robertson vztah: [6]

$$P_v = 1 - \frac{\text{objem vyplněný nitěmi}}{\text{celkově dosažený objem}} = \frac{V_n}{V_t} = 1 - \frac{V_n}{t_t} \quad (44)$$

Kde:  $P_v$  – Porosita tkanina stanovená na základě objemů [-]

$V_n$  – Objem nití v textili [m<sup>3</sup>]

Objem nití v textili je daný součtem objemů osnovní  $V_{no}$  a útkové  $V_{nu}$  příze: [6]

$$V_n = V_{no} + V_{nu} = D_o \cdot V_{lo} + D_u \cdot V_{lu} \quad (45)$$

Kde:  $D_o$  – Dostava osnovních nití [1.m<sup>-1</sup>]

$D_u$  – Dostava útkových nití [1.m<sup>-1</sup>]

$V_{1o}$  – Objem osnovní nitě v textilii o délce 1 m [ $m^3$ ]

$V_{1u}$  – Objem útkové nitě v textilii o délce 1 m [ $m^3$ ]

Pokud se zanedbá setkání osnovních a útkových nití, lze vztah pro výpočet objemu osnovních resp. útkových nití stanovit následovně: [6]

$$V_{1o} = l_o \cdot S_o \cong l \cdot \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} = \frac{T_o}{10^6 \rho_o} \quad (46)$$

$$V_{1u} = l_u \cdot S_u \cong l \cdot \frac{\pi \cdot d_u^2}{4} = \frac{T_u}{10^6 \rho_u} \quad (47)$$

kde:  $S_o$  – Plocha příčného řezu osnovní příze [ $m^2$ ]

$S_u$  – Plocha příčného řezu útkové příze [ $m^2$ ]

$T_o$  – Jemnost osnovní příze [tex]

$T_u$  – Jemnost útkové příze [tex]

$\rho_o$  – Objemová hmotnost osnovní příze [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

$\rho_u$  – Objemová hmotnost útkové příze [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

#### 4.3.2 Stanovení pórovitosti na základě modelu

##### Modely popisující proudění tekutin

Gooijer rozdělil modely charakterizující pórovitost textilních materiálů dle způsobu popisu proudění tekutin do následujících 3 skupin: [6]

**Pórové modely** - modely popisují vlákenný materiál jako tuhé těleso obsahující póry. Obecně vycházejí tyto modely ze základů filtračních schopností pórovitých materiálů a pro jejich matematické vyjádření je možné použít Darcyho

zákon (48), popisující rychlost proudění tekutiny přes pórovitý materiál v oboru malých hodnot Reynoldsova čísla, kdy je proudění tekutiny ustálené a laminární [6].

$$v = -\alpha \cdot \frac{\Delta p}{\mu \cdot t} \quad (48)$$

Kde:  $v$  – Rychlost proudění tekutiny porézním materiálem [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$\alpha$  – Koeficient propustnosti [ $\text{m}^2$ ]

$\Delta p$  – Tlakový spád [Pa]

$\mu$  – Viskozita [ $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ]

$t$  – Tloušťka pórovitého materiálu [m]

Pórové modely vycházejí při výpočtu pórovitosti z geometrie materiálu, která je v tomto typu modelů prezentována jako plochá deska určité tloušťky (dané tloušťkou textilie) s válcovými póry kolmými na plochu desky. Průměr pórů může být stanoven na základě výpočtu (ze základních charakteristik tkaniny – dostava osnovy, útku, průměr osnovy a útku) nebo stanoven vhodnou experimentální metodou (např. obrazová analýza). V případě laminárního toku přes válcové póry platí pro výpočet rychlosti proudění tekutiny v póru Hagen-Poiseuilleův vztah: [6]

$$v_p = -\frac{d_p^2}{32\mu} \cdot \frac{\Delta p}{h} \quad (49)$$

Kde:  $v_p$  – Rychlost proudění tekutiny v póru [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$d_p$  – Průměr póru [ $\text{m}^2$ ]

Jedním z velice frekventovaných modelů pro výpočet pórovitosti jako funkce geometrie textilního útvaru je Kármán-Kozényho model, kde právě Kozényho konstanta je ovlivněna geometrií textilie. Jedna z možných forem Kármán-Kozényho rovnice popisující tok tekutiny, jež je založena na vlastnostech filtračního materiálu, má tvar: [6]

$$K = \frac{d_{vl}^2}{16K_0} \cdot \frac{\psi^3}{(1-\psi)^2} \quad (50)$$

Kde:  $d_{vl}$  – Průměr vlákna [m]

$K_0$  – Kozényho konstanta [-]

$\psi$  – Pórovitost [-]

Kozényho konstanta je vhodná pro popis hustých pórovitých vrstev s náhodnými, klikatými póry umožňujícími proudění tekutiny. Z toho vyplývá, že tyto modely jsou vhodné zejména pro pórovitou strukturu reprezentující netkanou textilií s více méně náhodnou orientací vláken. U tkanin, pro jejichž výrobu byly použity multifilamentové nebo staplové příze, nebyly tyto modely dostatečně přesné [6].

**Překážkové (odporové) modely** – popisují odpor při proudění tekutiny přes textilní materiál představující systém válců. Modely byly aplikovány pouze na popis jednotlivých geometrií (soustava paralelních válců). Geometrie byla v těchto případech značně zjednodušena oproti geometrii skutečných textilií, která je složitá pro odvození náležitých vztahů textilních materiálů. Aplikace překážkových typů modelů pro textilní struktury by se mohly stát slibnými v případě použití techniky počítačové simulace [6].

**Otvorový model** – textilie je přirovnávána k ploché destičce s otvory. Tento typ modelu se používá zejména pro tkaniny [6].

Příčinou vzniku průtokového odporu je zužující se a následně se rozšiřující průtokový kanál. Průtokový odpor je odvozen jako poměr mezi plochou nejužšího příčného řezu póru a celkovou plochou póru: [6]



$$C_d = \sqrt{\frac{\rho \cdot v^2}{2 \cdot \Delta p} \cdot \frac{(1 - \alpha^2)}{\alpha^2}} \quad (51)$$

Kde:  $C_d$  – Průtokový odpor [-]

$P$  – Měrná hmotnost textilního útvaru [ $\text{kg} \cdot \text{m}^3$ ]

$\alpha$  – Poměr mezi efektivní a celkovou otevřenou plochou póru [-]

$v$  – Rychlost proudění [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$p$  – Tlak [Pa]

Odvození těchto uvedených ploch, hlavně pak plochu nejužšího příčného řezu je komplikované. Pro jejich stanovení se objevují modely založené na modelu tkaniny nebo na modelech založených na promítnutí plochy póru. Případně může být průtokový odpor charakterizován buď rychlostním koeficientem odporu nebo odporovým koeficientem. Oba tyto koeficienty jsou funkcí Reynoldsova čísla. Reynoldsovo číslo je pro tyto modely definováno vztahem: [6]

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v' \cdot D}{\mu} \quad (52)$$

Kde:  $\text{Re}$  – Reynoldsovo číslo [-]

$D$  – Průměr smáčeného (efektivního) póru [m]

$v'$  – Rychlost proudění uvnitř textilního materiálu definovaná jako:

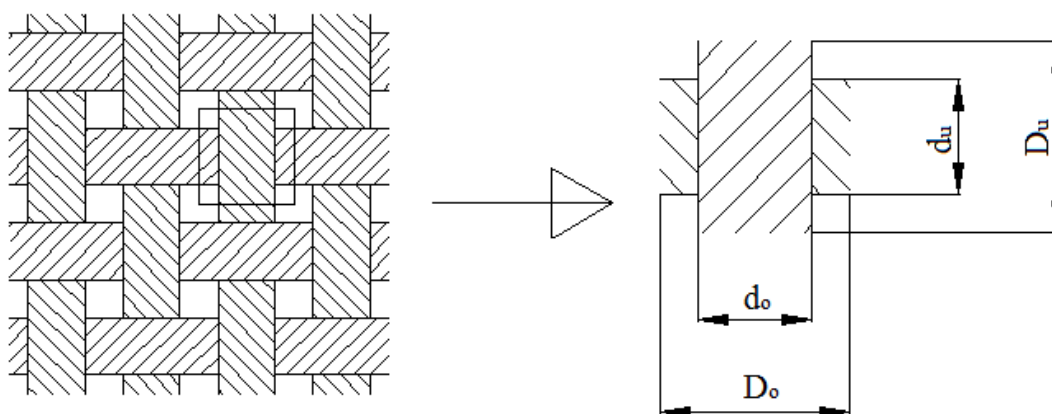
$$v' = \frac{v}{\alpha} \quad (53)$$

## Geometrické modely pórovitosti

První představu o pórovitosti tkaniny podávají její základní konstrukční parametry, jako jsou dostava osnovních  $D_o$ , útkových  $D_u$  nití, průměr osnovních  $d_o$ , útkových  $d_u$  nití. Tyto parametry jsou nejčastěji používány právě při tvorbě modelů, které slouží pro stanovení pórovitosti. K dalším charakteristikám působících na hodnotu pórovitosti patří konstrukce a počet zákrutů osnovních a útkových nití, příp. typ vazby a konečná úprava tkaniny [6].

**Klasický 2-D model pórovitosti tkaniny** - model je definován jako doplněk ke kolmému průmětu nití do roviny tkaniny, resp. vyjádření plošného zakrytí tkaniny (obr. 8), jak jej definoval Pierce: [6]

$$CF = D_o d_o + D_u d_u - D_o D_u d_o d_u \quad (54)$$



Obr. 8: Zakrytí vazného prvku v tkanině

Kde:  $CF$  – Plošné zakrytí tkaniny dle Piercea [-]

$D_o$  – Dostava osnovních nití [ $\text{l.m}^{-1}$ ]

$D_u$  – Dostava útkových nití [ $\text{l.m}^{-1}$ ]

$d_o$  – Průměr osnovní nitě [m]

$d_u$  – Průměr útkové nitě [m]

Plocha pórů je chápána jako jejich kolmá projekce do roviny tkaniny. Pórovitost  $P_s$  je dána vztahem: [6]

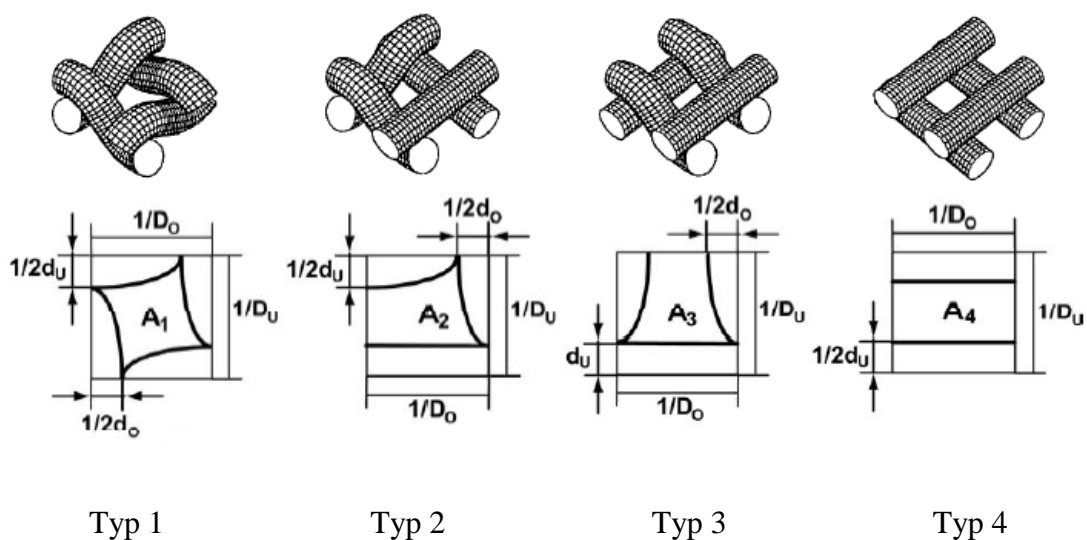
$$P_s = 1 - CF \quad (55)$$

Kde:  $P_s$  – Pórovitost stanovená na základě plochy [-].

Na (obr. 8) je patrné, že póry spolu s vaznými prvky u klasického 2-D modelu představují kolmé čtyřúhelníky. Model zcela zanedbává třírozměrnou strukturu a tvarové odlišnosti pórů v tkanině. Tento model pórovitosti je srovnatelný s optickou metodou zjišťování pórovitosti pomocí světelné propustnosti tkaniny pomocí obrazové analýzy. Pórovitost vypočítaná z teoretického vztahu (55) lze ověřit měřením světelné propustnosti tkaniny [6].

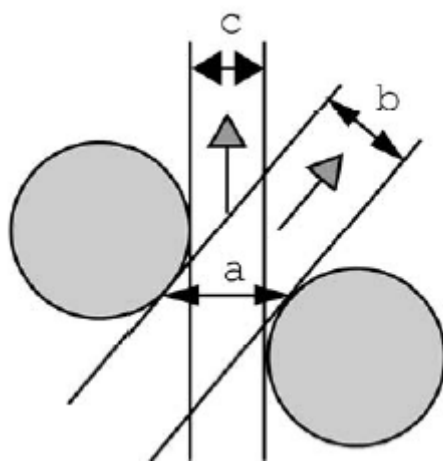
Pokud však vezmeme v úvahu tkaninu s hustou dostavou, kde je plocha pórů v kolmém směru nulová, vzduch nemusí protékat pouze v kolmém směru. Vzduch může protékat jak přes samotné nitě, zvláště pokud mají nižší počet zákrutů, tak mezi nitěmi v šikmém směru jako důsledek toho, že tkanina díky svému provázání získá různě nakloněné póry, ve kterých dochází k obtékání nití proudem vzduchu. Z této úvahy vychází návrh modifikace klasického 2-D modelu pórovitosti [6].

**Modifikace klasického 2-D modelu pórovitosti** - Gooijer použil čtyři základní typy jednotlivých pórů, jak je navrhl Backer (obr. 9). Z těchto pórů je možno sestavit jakoukoliv tkaninu a tyto póry se v nich mohou vyskytovat v různých kombinacích [6].



Obr. 9: Základní typy pórů

Cílem Gooijerových snah bylo navrhnout model, který by zahrnoval 3-D strukturu jednotkového póru do projekce ve 2-D. Původní Backerův model sice zahrnoval 3-D geometrii póru, ale zanedbával fakt, že proud v pórech není vždy kolmý na plochu textilie, jak je vidět na (obr. 10) [6].



Obr. 10: Průtok vzduchu mezi vlákny

Ke stanovení pórovitosti se používají výsledné vztahy pro výpočet otevřených ploch jednotlivých pórů  $A_1$  až  $A_4$  [8]:

$$A_1 = \frac{1}{D_o} \frac{1}{D_u} - \frac{\pi}{4} d_u \left( \frac{1}{D_o} - \frac{d_o}{2} \right) - \frac{\pi}{4} d_o \left( \frac{1}{D_u} - \frac{d_u}{2} \right) \quad (56)$$

$$A_2 = \frac{1}{D_o} \frac{1}{D_u} - \frac{\pi}{8} d_u \left( \frac{1}{D_o} - \frac{d_o}{2} \right) - \frac{\pi}{8} d_o \left( \frac{1}{D_u} - \frac{d_u}{2} \right) - \frac{d_u}{2} \frac{1}{D_o} \quad (57)$$

$$A_3 = \frac{1}{D_o} \frac{1}{D_u} - \frac{d_u}{2} \frac{1}{D_o} - \frac{\pi}{4} d_o \left( \frac{1}{D_u} - \frac{d_u}{2} \right) \quad (58)$$

$$A_4 = \frac{1}{D_o} \frac{1}{D_u} - \frac{1}{D_o} d_u \quad (59)$$

Porositu  $P_G$  pak lze s použitím vztahů (56, 57, 58 a 59) stanovit jako podíl celkové plochy všech pórů ve střídě vazby  $A_{CS}$  a celkové plochy střídy vazby tkaniny  $S_S$  [8]:

$$P_G = \frac{A_{CS}}{S_S} \quad (60)$$

$$P_G = \frac{m_1 A_1 + m_2 A_2 + m_3 A_3 + m_4 A_4}{\frac{1}{D_o} n_{so} \frac{1}{D_u} n_{su}} \quad (61)$$

Kde:  $A_{CS}$  - Celková plocha všech pórů ve střídě vazby [ $m^2$ ]

$S_S$  - Celková plocha střídy vazby tkaniny [ $m^2$ ]

$n_{so}$  - Počet vazných bodů ve střídě ve směru osnovy [-]

$n_{su}$  - Počet vazných bodů ve střídě ve směru útku [-]

$m_1 - m_4$  jsou počty pórů typu 1 – 4 obsažených ve střídě vazby

Proto musí platit:

$$\sum_{i=1}^4 m_i = n_{SO} \cdot n_{SU} \quad (62)$$

**Zjednodušený 3-D model pórovitosti tkaniny** – Havrdová zavedla zjednodušený 3-D model. Přitom vychází z představy, že základní typy pórů se v místech vzájemného křížení osnovních a útkových nití výrazně neliší. Vazné body chápe jako zcela vyplněné hmotou. Havrdová vychází z úvahy, že pórové buňky se liší především v místech spojovacích úseků vazných bodů a právě tyto úseky ovlivňují hodnoty pórovitosti. Přičemž v případě provázané nitě zaujímají větší část celkového objemu póru, než je tomu v případě nití neprovázaných [6].

Celkový objem  $V_C$  libovolné pórové buňky počítá ze vztahu: [6]

$$V_C = \frac{1}{D_o} \cdot \frac{1}{D_u} \cdot (d_o + d_u) \quad (63)$$

Hmota příze vyplňuje jen část celkového objemu. Hmota příze zaujímá objem  $V_{VB}$ , a lze jej stanovit na základě vztahu: [6]

$$V_{VB} = d_o d_u \cdot (d_o + d_u) \quad (64)$$

Zakřížené a nezakřížené spojovací buňky pak zahrnuje do vazné buňky jako polovinu válce a objemy navrhuje počítat dle vztahu: [6]

$$V_{ZO-} = \frac{\pi d_o^2}{8} \cdot \left( \frac{1}{D_u} - d_u \right) \quad (65)$$

$$V_{ZO+} = \frac{\pi d_o^2}{8} \cdot \frac{\left( \frac{1}{D_u} - d_u \right)}{\cos \theta_o} \quad (66)$$

Kde:  $V_{ZO-}$  – Objem nezakřiveného spojovacího úseku osnovní nitě ve vazné buňce [ $m^3$ ]

$V_{ZO+}$  – Objem zakřiveného spojovacího úseku osnovní nitě ve vazné buňce [ $m^3$ ]

$\theta_o$  – Úhel provázání osnovní nitě [ $^\circ$ ]

Objemy nezakřiveného a zakřiveného úseku útkové nitě ve vazné buňce lze získat záměnou indexů  $o$  a  $u$  ve vztazích (65) a (66) [6].

Z důvodu nesymetričnosti póru typu 3, jak jej definoval Backer (obr. 9), zavádí Havrdová rozlišení uvedeného typu póru následovně: [6]

- Pór 3A – 2 nezakřížené osnovní úseky a 2 zakřížené útkové úseky
- Pór 3B – 2 zakřížené osnovní úseky a 2 nezakřížené útkové úseky

Na základě vztahů (63) – (66) a geometrie základních typů pórových buněk Havrdová navrhla vztahy pro výpočet „prázdných objemů“ pro všechny typy pórů, tj.  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_{3A}$ ,  $V_{3B}$  a  $V_4$  [6].

Pro výpočet pórovitosti tkaniny s libovolným typem vazby pak stanovuje následující vztah: [6]

$$P_H = \frac{m_1 V_1 + m_2 V_2 + m_{3A} V_{3A} + m_{3B} V_{3B} + m_4 A_4}{V_C n_{SO} n_{SU}} \quad (67)$$

Kde:  $P_H$  – Pórovitost podle Havrdové [-]

$V_{1-4}$  – „prázdné objemy“ pórovitých buněk typu 1 – 4 [ $m^3$ ]

## 5 Obrazová analýza

Obrazová analýza je nástroj k získávání obrazu digitální kamerou propojenou s osobním počítačem vybaveným speciálním softwarem pro zpracování obrazu a jeho následném vyhodnocování. Uplatňuje se především při zkoumání struktury textilie. Obraz je upravován a vyhodnocován na základě principu světelné propustnosti materiálu.

## 6 Experimentální část

V první části experimentální části byla zpracována matematická metoda výpočtu pórovitosti zadané sady textilií. Tkaniny jsou vyrobeny ze 100% bavlny a utkány v atlasové vazbě. Jedná se o pětivazný atlas s postupným číslem 3. Parametry tkanin jsou uvedeny v příloze v tabulce (tab. 3).

Na těchto tkaninách byl zjišťován vliv konstrukčních parametrů textilie (v tomto případě jen vliv změny parametrů útkových nití) na pórovitost textilie.

V druhé části experimentální části této práce byla měřena pórovitost pomocí obrazové analýzy systémem LUCIA G s využitím principu světelné propustnosti textilie.

### 6.1 Matematická metoda výpočtu pórovitosti

Je mnoho způsobů výpočtů pórovitosti, některé z nich jsou uvedeny v teoretické části, v této práci byl vybrán vztah pro výpočet plošné pórovitosti.

Pro výpočet pórovitosti je nejprve třeba stanovit průměr osnovní příze a útkových přízí ve tkanině, dle vzorce:

$$d = \sqrt{\frac{4T}{\pi \cdot \rho}} \quad (68)$$



Výsledky jsou uvedeny v tabulce (tab. 4).

$d_o$	0,183	$d_{u7}$	0,183
$d_{u1}$	0,224	$d_{u8}$	0,183
$d_{u2}$	0,224	$d_{u9}$	0,166
$d_{u3}$	0,224	$d_{u10}$	0,166
$d_{u4}$	0,224	$d_{u11}$	0,166
$d_{u5}$	0,183	$d_{u12}$	0,166
$d_{u6}$	0,183		

Tab. 4 Průměry přízí [mm]

Po zjištění průměrů přízí je nutné ještě s použitím dostav materiálů vypočítat zakrytí tkaniny pomocí vztahů (54):

$$CF = D_o d_o + D_u d_u - D_o D_u d_o d_u$$

Vypočtené hodnoty zakrytí jsou uvedeny v tabulce (tab. 5).

$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$
0,670	0,645	0,620	0,596	0,649	0,629
$Z_7$	$Z_8$	$Z_9$	$Z_{10}$	$Z_{11}$	$Z_{12}$
0,608	0,588	0,649	0,631	0,612	0,593

Tab. 5 Hodnoty zakrytí [-]

Z jednoduchého vztahu (55) je nyní možné vypočítat plošnou pórovitost.

$$P_s = 1 - CF$$

Hodnoty plošné pórovitosti stanovené matematicky jsou pak uvedeny v tabulce (tab. 6)

$P_{S1}$	$P_{S2}$	$P_{S3}$	$P_{S4}$	$P_{S5}$	$P_{S6}$
0,330	0,355	0,380	0,404	0,351	0,371
$P_{S7}$	$P_{S8}$	$P_{S9}$	$P_{S10}$	$P_{S11}$	$P_{S12}$
0,391	0,411	0,351	0,369	0,388	0,406

Tab. 6 Hodnoty plošné pórovitosti [-]

## 6.2 Stanovení pórovitosti pomocí obrazové analýzy

Měření pórovitosti zadané sady materiálů bylo provedeno pomocí obrazové analýzy Lucia, která je umístěna na Katedře oděvnictví. Bylo provedeno 5 měření na každém z materiálů. Měřeny byly plochy pórů ve tkanině, ze kterých byla následně zjištěna celková plocha pórů ve tkanině. Hodnoty byly dále statisticky vyhodnoceny a použity pro výpočet plošné pórovitosti. Měření bylo prováděno na celé ploše snímku.

Při měření na obrazové analýze Lucia je nutné nejprve zaostřit měřenou tkaninu a provést kalibraci pomocí milimetrového papíru. Po kalibraci je nutné získání obrazu pomocí digitální kamery. Takto získaný obraz byl převeden na obraz binární, na kterém pak pomocí funkcí softwaru byly změřeny plochy pórů textilie zobrazené na snímku a celková plocha snímku (tj. plocha textilie). Z takto naměřených hodnot byly spočítány celkové plochy pórů, které byly použity pro stanovení plošné pórovitosti a průměrné plošné pórovitosti pro každý ze zadaných

materiálů. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce (tab. 7) a vypočtená statistika v tabulce (tab. 8). Plošná pórovitost byla stanovena dle vztahu:

$$P_s = \frac{S_p}{S_c} \quad (69)$$

Vzorek č.	1	2	3	4	5	6
P <sub>1</sub> [-]	0,1097	0,1303	0,2361	0,2316	0,1435	0,1929
P <sub>2</sub> [-]	0,1150	0,1362	0,2592	0,2429	0,1442	0,1918
P <sub>3</sub> [-]	0,1333	0,1414	0,2180	0,1972	0,1254	0,2100
P <sub>4</sub> [-]	0,1053	0,1195	0,2402	0,1969	0,1417	0,2211
P <sub>5</sub> [-]	0,0940	0,1396	0,2174	0,2448	0,1265	0,1876
P [-]	0,1114	0,1334	0,2342	0,2227	0,1363	0,2007
Vzorek č.	7	8	9	10	11	12
P <sub>1</sub> [-]	0,2232	0,2838	0,1669	0,1906	0,2248	0,2568
P <sub>2</sub> [-]	0,2543	0,3029	0,1318	0,1827	0,2191	0,2673
P <sub>3</sub> [-]	0,2572	0,3067	0,1408	0,1736	0,2285	0,2402
P <sub>4</sub> [-]	0,2602	0,3049	0,1335	0,1727	0,2302	0,2278
P <sub>5</sub> [-]	0,2848	0,3033	0,1482	0,1831	0,2399	0,2575
P [-]	0,2559	0,3003	0,1442	0,1805	0,2285	0,2499

Tab. 7 Hodnoty pórovitosti stanovené pomocí obrazové analýzy

Vzorek č.	1	2	3	4	5	6
$s^2$ [-]	0,000209	0,000078	0,000302	0,000572	0,000089	0,000203
s [-]	0,01446	0,00884	0,01739	0,02391	0,00945	0,01426
v [%]	12,974	6,626	7,426	10,739	6,933	7,106
95%IS+ [-]	0,129	0,144	0,256	0,252	0,148	0,218
95%IS- [-]	0,093	0,122	0,213	0,193	0,125	0,183
Vzorek č.	7	8	9	10	11	12
$s^2$ [-]	0,000482	0,000087	0,000203	0,000056	0,000059	0,000247
s [-]	0,02195	0,00935	0,01425	0,00747	0,00766	0,01571
v [%]	8,575	3,114	9,882	4,139	3,352	6,287
95%IS+ [-]	0,283	0,312	0,162	0,190	0,238	0,269
95%IS- [-]	0,229	0,289	0,127	0,171	0,219	0,230

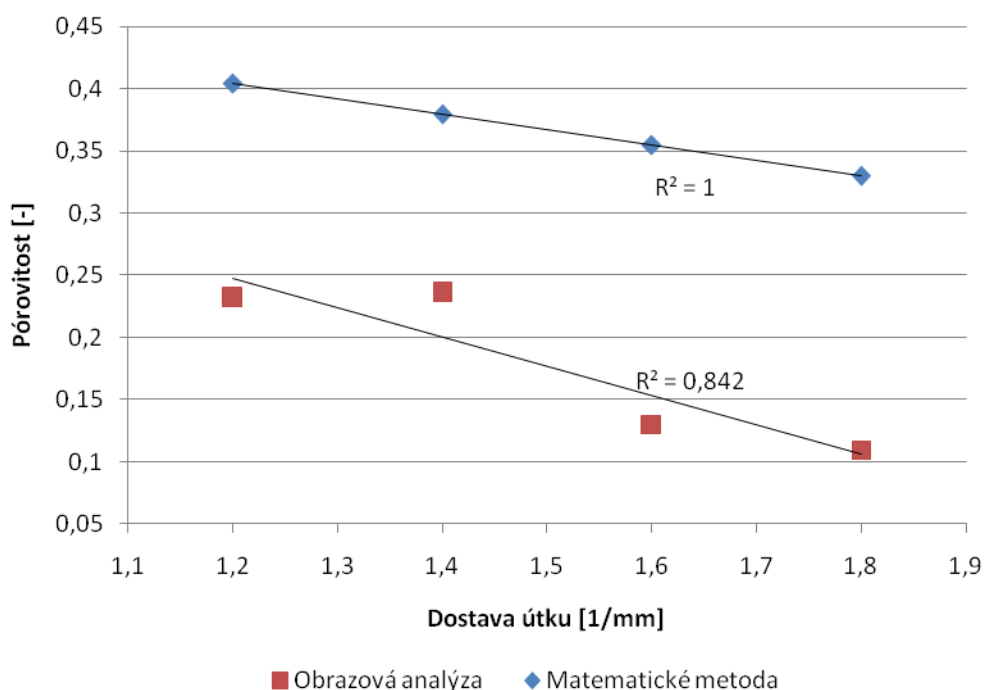
Tab. 8 Statistické hodnoty

### 6.3 Vyhodnocení experimentální části

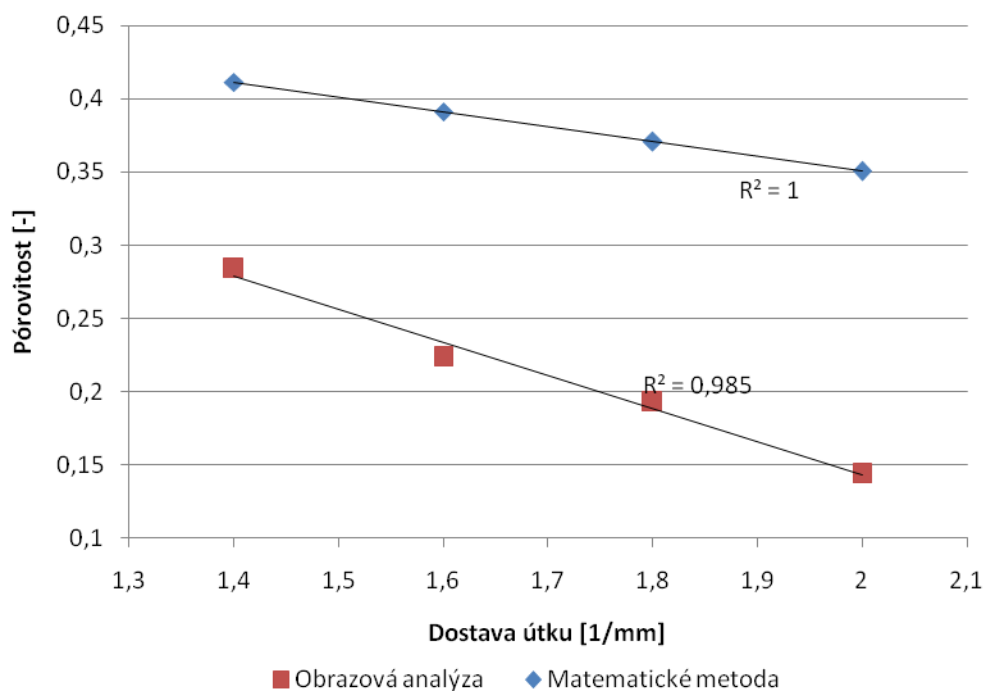
Úkolem této práce bylo zjištění vlivu konstrukčních parametrů textilie na její pórovitost porovnáním jedné z vybraných matematických metod, které jsou uvedeny v teoretické části, s experimentálně zjištěnou plošnou pórovitostí zjištěnou pomocí

obrazové analýzy. Pro matematický výpočet byl vybrán vztah pro výpočet plošné pórovitosti z plošného zakrytí (55).

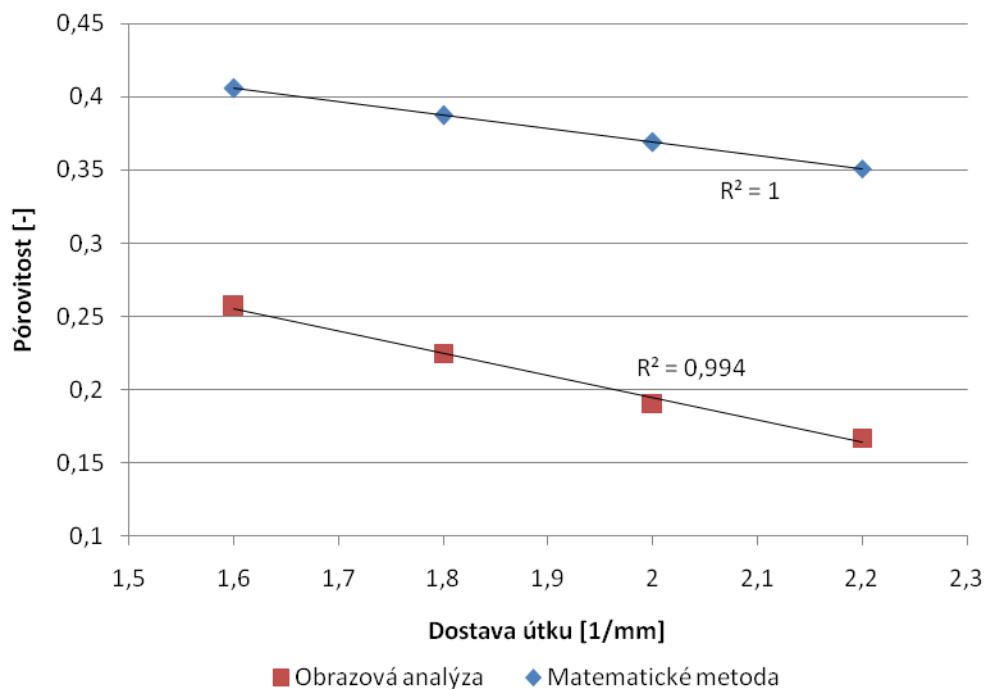
Sada zadaných materiálu byla rozdělena do tří skupin podle jemností útkových nití, které byly 60, 40 a 33 tex. V každé skupině materiálů byly čtyři tkaniny lišící se dostavou útkových nití. Výsledné hodnoty pórovitosti zjištěné pomocí matematické metody a pórovitosti stanovené pomocí obrazové analýzy jsou uvedeny v grafech 1 – 3.



Graf 1: Závislost pórovitosti na dostavě skupiny tkanin s jemností 60 tex



Graf 2: Závislost pórovitosti na dostavě skupiny tkanin s jemností 40 tex



Graf 3: Závislost pórovitosti na dostavě skupiny tkanin s jemností 33 tex

Grafy 1 – 3 byla vyjádřena závislost pórovitosti textilie na změně dostavy útkových nití. Z grafů je patrné, že pórovitost tkanin roste se snižující se dostavou útkových nití a zároveň roste se snižující se jemností útkových nití.

Z grafů je patrná závislost pórovitosti na dostavě útkových nití. Pórovitost je lineárně závislá na dostavě útkových nití (tzn. pórovitost se mění přímo úměrně v závislosti na hodnotě dostavy útkových nití).

Závislost pórovitosti na dostavě útkových nití získané pomocí obrazové analýzy již lineární lineární není. I když se lineární závislosti blíží. Toto však neplatí pro první skupinu tkaniny, kde byla pórovitost tkaniny s dostavou útkových nití 1,4 1/mm stanovena vyšší než u tkaniny s dostavou útkových nití 1,2 1/mm.

## 7 Závěr

Pórovitost, tedy podíl objemu vzduchu ku celkovému objemu textilie je ovlivňována mnoha faktory, dostavou osnovních a útkových nití, jejich průměrem, vazbou tkaniny, technologií výroby textilie i nití, finálními úpravami atd.

V této práci byl zkoumán vliv dostavy útkových nití rozdělených do tří skupin s rozdílnou jemností nití na pórovitost textilie. Byly porovnávány dvě metody stanovení pórovitosti, metoda matematického výpočtu a stanovení pórovitosti pomocí obrazové analýzy.

Pórovitost textilie stanovená matematicky by měla vycházet větší než u stanovení pomocí obrazové analýzy, z důvodů zanedbání deformací, při kterých dochází při výrobě plošných textilií a chlupatosti. Při změně dostavy útku se plošná pórovitost stanovená matematicky mění lineárně vzhledem k změně dostavy. Při snižující se dostavě roste hodnota pórovitosti a naopak. Stejný vliv má na pórovitost i jemnost útkových přízí, tedy při snižující se jemnosti přízí roste pórovitost plošné textilie. Výsledek metody matematického výpočtu je pouze teoretickou hodnotou, která je v běžné praxi nedostačující.

Stanovením pórovitosti pomocí obrazové analýzy byly získány hodnoty, které jsou u každého z textilních materiálů nižší, tedy byla zjištěna menší plocha mezivláknových pórů. Takto stanovená pórovitost se blíží lineární závislosti, ale nedosahuje ji. Výjimkou je tkanina z první skupiny materiálů s dostavou 1,4 1/mm, jehož pórovitost vychází větší než u tkaniny s dostavou 1,2 1/mm. To mohlo být způsobeno vadami přízí nebo chybou při výrobě textilie.

Hodnoty pórovitosti stanovené pomocí obrazové analýzy na principu světelné propustnosti textilie jsou značně ovlivněny subjektivním vnímáním obrazu, zejména při nastavování osvětlení snímaného materiálu a dále pak při nastavování prahování kdy se šedý obraz převádí na binární. Tento fakt může mít na výsledné hodnoty vliv, tato metoda je však vyhovující pro běžné stanovení plošné pórovitosti v praxi.



## Použitá literatura

- [1] Neckář, B.: Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknenných útvarů, TU v Liberci 2001. ISBN 80-7083-473-0.
- [2] Neckář, B. Struktura a vlastnosti textilií [online]. [cit. 20.12.2011]. Dostupné na World Wide Web:  
[https://skripta.ft.tul.cz/database/list\\_aut.cgi?aut=2&skr=192&pro=](https://skripta.ft.tul.cz/database/list_aut.cgi?aut=2&skr=192&pro=)
- [3] Vysocefunkční textilie [online]. [cit. 20.12.2011]. Dostupné na World Wide Web: [http://www.ft.tul.cz/depart/kde/studium/predmetyPRILOHY/5\\_PT0.pdf](http://www.ft.tul.cz/depart/kde/studium/predmetyPRILOHY/5_PT0.pdf)
- [4] Pospíšil, Z. a kol.: Příručka textilního odborníka, 2 část, Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1981. ISBN 04-825-81.
- [5] Slota, Z.: Vliv směsového podílu přízí na zakrytí tkanin, bakalářská práce, TU v Liberci 2007.
- [6] Halasová, A.: Příspěvek k hodnocení prodyšnosti oděvních sendvičů v podmínkách rychle proudícího vzduchu, dizertační práce, TU v Liberci 2007
- [7] Staňek, J.: Nauka o textilních materiálech, díl 1., část 4., Vlastnosti délkových a plošných textilií, VŠST v Liberci 1988. ISBN 55-801-88.
- [8] Havrdová, M.: Příspěvek k hodnocení prodyšnosti oděvních tkanin, TU v Liberci 2004

## **Seznam obrázků**

Obr. 1: Hranolový výřez textilního materiálu

Obr. 2: Výřez textilním materiálem ve tvaru plochého hranolu

Obr. 3: a) hexagonální vlákenná struktura, b) jednotka struktury

Obr. 4: Pronikání vlákna vlákennou řadou s kompaktní strukturou

Obr.: 5 Pronikání vlákna vlákennou řadou s volnou strukturou

Obr. 6: Pronikání vlákna vlákennou řadou s přechodovou strukturou

Obr. 7: Typy pórů

Obr. 8: Zakrytí vazného prvku v tkanině

Obr. 9: Základní typy pórů

Obr. 10: Průtok vzduchu mezi vlákny

## **Seznam grafů**

Graf 1: Závislost pórovitosti na dostavě skupiny tkanin s jemností 60 tex

Graf 2: Závislost pórovitosti na dostavě skupiny tkanin s jemností 40 tex

Graf 3: Závislost pórovitosti na dostavě skupiny tkanin s jemností 33 tex

## **Seznam tabulek**

Tab. 2 Tvarový faktor [2]

Tab. 4 Průměry přízí [mm]

Tab. 5 Hodnoty zakrytí [-]

Tab. 6 Hodnoty plošné pórovitosti [-]

Tab. 7 Hodnoty pórovitosti stanovené pomocí obrazové analýzy

Tab. 8 Statistické hodnoty

Tab. 1 Orientační hodnoty zaplnění [2]

Tab. 3 Parametry tkanin

## **Seznam příloh**

Příloha 1: Orientační hodnoty zaplnění

Příloha 2: Parametry tkanin

Příloha 3: Vzorky materiálů

## Příloha 1: Orientační hodnoty zaplnění

Skupina	Vláknenný útvar	$\mu$ [-]
Délkové textilie	Monofil	1
	Limitní struktura	0,907
	Ostře kroucené hedvábí	0,75 až 0,85
	Lněná příze mokropředená	kolem 0,65
	Bavlněná příze česaná	0,5 až 0,6
	Bavlněná příze mykaná	0,38 až 0,55
	Vlněná příze česaná	0,38 až 0,50
	Vlněná příze mykaná	0,35 až 0,45
	Bavlněný přást	0,10 až 0,20
	Pramen	kolem 0,03
Jiné textilie	Tkanina	0,15 až 0,30
	Pletenina	0,10 až 0,20
	Vata	0,02 až 0,04
	Kožešina (textilní)	0,005 až 0,02
Jiné materiály	Kamenina (keramika)	0,20 až 0,23
	Dřevo	0,3 až 0,7
	Přírodní useň	0,33 až 0,66

Tab. 1 Orientační hodnoty zaplnění [2]

## Příloha 2: Parametry tkanin

Číslo materiálu	T <sub>o</sub> [tex]	D <sub>o</sub> [1/100mm]	T <sub>u</sub> [tex]	D <sub>u</sub> [1/100mm]
1	2 x 20	244	2 x 30	180
2				160
3				140
4				120
5			2 x 20	200
6				180
7				160
8				140
9			2 x 16,5	220
10				200
11				180
12				160

Tab. 3 Parametry tkanin

## **Příloha 3: Vzorky materiálů**

### **Skupina materiálů s jemností útkových nití 60 tex**

#### **Vzorek č. 1**

$$D_u = 180$$

#### **Vzorek č. 2**

$$D_u = 160$$

#### **Vzorek č. 3**

$$D_u = 140$$

#### **Vzorek č. 4**

$$D_u = 120$$

## **Skupina materiálů s jemností útkových nití 40 tex**

### **Vzorek č. 5**

$$D_u = 200$$

### **Vzorek č. 6**

$$D_u = 180$$

### **Vzorek č. 7**

$$D_u = 160$$

### **Vzorek č. 8**

$$D_u = 140$$

## **Skupina materiálů s jemností útkových nití 33 tex**

### **Vzorek č. 9**

$$D_u = 220$$

### **Vzorek č. 10**

$$D_u = 200$$

### **Vzorek č. 11**

$$D_u = 180$$

### **Vzorek č. 12**

$$D_u = 160$$